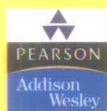




卡内基·梅隆大学软件工程丛书



# 软件构架实践

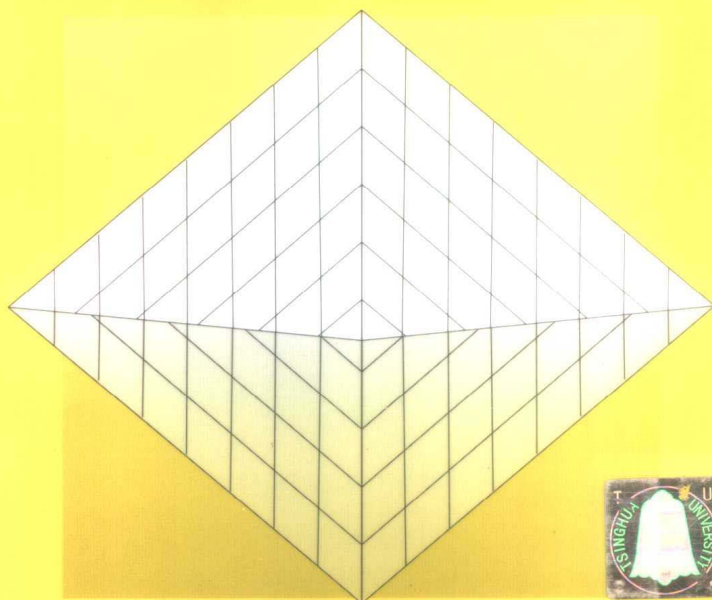
影印版 (第2版)

## Software Architecture in Practice (Second Edition)

林·巴斯 (Len Bass)

[美] 保罗·克莱门茨 (Paul Clements) 著

瑞克·凯兹曼 (Rick Kazman)



美国“软件开发”杂志



第九届图书效率大奖



清华大学出版社



卡内基·梅隆大学软件工程丛书

# 软件构架实践

影印版 (第2版)

**Software Architecture in Practice**  
(Second Edition)

林·巴斯 (Len Bass)

[美] 保罗·克莱门茨 (Paul Clements) 著

瑞克·凯兹曼 (Rick Kazman)

美国“软件开发”杂志



第九届图书效率大奖

清华大学出版社  
北京

English reprint edition copyright © 2003 by PEARSON EDUCATION ASIA  
LIMITED and TSINGHUA UNIVERSITY PRESS.

Original English language title from Proprietor's edition of the Work.

Original English language title: Software Architecture in Practice, Second Edition by  
Len Bass, Paul Clements, Rick Kazman, Copyright © 2003

All Rights Reserved.

Published by arrangement with the original publisher, Pearson Education, Inc.,  
publishing as Pearson Education, Inc.

This edition is authorized for sale and distribution only in the People's Republic of  
China (excluding the Special Administrative Region of Hong Kong, Macao SAR and  
Taiwan).

本书影印版由 Pearson Education 授权给清华大学出版社出版发行。

**For sale and distribution in the People's Republic of China  
exclusively (except Taiwan, Hong Kong SAR and Macao SAR).**

仅限于中华人民共和国境内(不包括中国香港、澳门特别行政区和  
中国台湾地区)销售发行。

北京市版权局著作权合同登记号 图字: 01-2003-0546

本书封面贴有清华大学出版社激光防伪标签, 无标签者不得销售。

图书在版编目(CIP)数据

软件构架实践=Software Architecture in Practice: 第2版 / (美)巴斯, (美)克  
莱门茨, (美)凯兹曼著; —影印本。—北京: 清华大学出版社, 2003

(卡内基·梅隆大学软件工程丛书)

ISBN 7-302-07043-1

I. 软… II. ①巴… ②克… ③凯… III. 软件开发—英文 IV. TP311.52

中国版本图书馆CIP数据核字(2003)第070073号

出版者: 清华大学出版社

地 址: 北京清华大学学研大厦

<http://www.tup.com.cn>

邮 编: 100084

社总机: 010-62770175

客户服务: 010-62776969

文稿编辑: 车立红

封面设计: 立日新设计公司

印刷者: 世界知识印刷厂

发行者: 新华书店总店北京发行所

开 本: 148×210 印张: 18.25 插页: 1

版 次: 2003年8月第1版 2003年8月第1次印刷

书 号: ISBN 7-302-07043-1/TP·5177

印 数: 1~3000

定 价: 39.00元

## 出版说明

1984年,美国国防部出资在卡内基·梅隆大学设立软件工程研究所(Software Engineering Institute,简称SEI)。SEI于1986年开始研究软件过程能力成熟度模型(Capability Maturity Model, CMM),1991年正式推出了CMM 1.0版,1993年推出CMM 1.1版。此后,SEI还完成了能力成熟度模型集成(Capability Maturity Model Integration,简称CMMI)。目前,CMM 2.0版已经推出。

CMM自问世以来备受关注,在一些发达国家和地区得到了广泛应用,成为衡量软件公司软件开发管理水平的重要参考因素,并成为软件过程改进的事实标准。CMM目前代表着软件发展的一种思路,一种提高软件过程能力的途径。它为软件行业的发展提供了一个良好的框架,是软件过程能力提高的有用工具。

SEI十几年的研究过程和成果,都浓缩在由SEI参与研究工作的资深专家亲自撰写的卡内基·梅隆大学软件工程丛书(SEI Series In Software Engineering)中。

为增强我国软件企业的竞争力,提高国产软件的水平,清华大学出版社全面引进了这套丛书,分批影印和翻译出版,这套丛书采取开放式出版。不断改进,不断出版,旨在满足国内软件界人士学习原版软件工程高级教程的愿望。

清华大学出版社

# 卡内基·梅隆大学软件工程丛书

## 编 委 会 名 单

主 任 周伯生

副 主 任 郑人杰

委 员 (按姓名拼音顺序排列)

董士海 顾毓清 王 纬

吴超英 尤晓东

执行委员 尤晓东

秘 书 廖彬山

# 总 序

周伯生

美国卡内基·梅隆大学软件工程研究所（CMU/SEI）是美国联邦政府资助构建的研究单位，由美国国防部主管。他们确认，为了保证软件开发工作的成功，由软件开发人员、软件采办人员和软件用户组成的集成化团队必须具有必要的软件工程知识和技能，以保证能按时向用户交付正确的软件。所谓“正确的”就是指在功能、性能和成本几个方面都能满足用户要求且无缺陷；所谓“无缺陷”就是指在编码后对软件系统进行了彻底的穷举测试修复了所有的缺陷，或保证所编写的代码本身不存在缺陷。

CMU/SEI 为了达到这个目的，提出了创造、应用和推广的战略。这里的“创造”是指与软件工程研究社团一起，共同创造新的实践或改进原有的实践，而不墨守成规。这里的“应用”是指与一线开发人员共同工作，以应用、改进和确认这些新的或改进的实践，强调理论联系实际。这里的“推广”是指与整个社团一起，共同鼓励和支持这些经过验证和确认的、新的或改进的实践在世界范围内的应用，通过实践进行进一步的检验和提高。如此循环，往复无穷。

他们把所获得的成就归纳为两个主要领域。一个是倡导软件工程管理的实践，使软件组织在采办、构建和改进软件系统时，具有预测的能力与控制质量、进度、成本、开发周期和生产效率的能力。另一个是改进软件工程技术的实践，使软件工程师具有分析、预测和控制软件系统属性的能力，其中包括在采办、构建和改进软件系统时，能进行恰当的权衡，作出正确的判断和决策。CMU/SEI 通过出版软件工程丛书，总结他们的研究成果和实践经

验，是推广这两个领域经验的重大举措。

卡内基·梅隆大学软件工程丛书由 CMU/SEI 和 Addison-Wesley 公司共同组织出版，共分 4 个部分：计算机和网络安全（已出版了 2 本著作），工程实践（已出版了 8 本著作），过程改进和过程管理（已出版了 11 本著作），团队软件过程和个体软件过程（已出版了 3 本著作）。前两者属于软件工程技术实践，后两者属于软件工程管理实践。目前这 4 个部分共出版了 24 本著作，以向软件工程实践人员和学生方便地提供最新的软件工程信息。这些著作凝聚了全世界软件工程界上百位开拓者和成千上万实践者的创造性劳动，蕴含了大量的宝贵经验和沉痛教训，很值得我们学习。

清华大学出版社邀请我和郑人杰教授共同组织卡内基·梅隆大学软件工程译丛编委会。清华社计划首先影印 6 本著作，翻译出版 15 本著作。据我所知，在 Addison-Wesley 公司出版的 SEI 软件工程丛书中，人民邮电出版社已经翻译出版了《个体软件过程》和《团队软件过程》，还拟影印出版《个体软件过程》和《软件工程规范》；电子工业出版社已经翻译出版了《净室软件工程的技术与过程》、《能力成熟度模型 CMM 1.1 指南》、《能力成熟度模型集成 CMMI》和《软件项目管理》；北京航空航天大学出版社已经翻译出版了《统计过程控制》。这些出版社共计影印 2 本著作，翻译出版 7 本著作。这样，可以预期我国在今年年底共可影印 8 本著作，翻译出版 22 本著作。各个出版社的有远见的辛勤劳动，为我们创造了“引进、消化、吸收、创新”的机遇。我们应该结合各自的实践，认真学习国外的先进经验，以大大提高我国软件工程的理论和实践水平。

在这套丛书中，特别值得一提的是，在过程工程领域被誉为软件过程之父的 Humphrey 先生所撰写的《软件过程管理》、《技术人员管理》、《软件工程规范》、《个体软件过程》、《团队软件过程》和《软件制胜之道》等 6 本著作，将于今年年内全部翻译出

版，其中《软件过程管理》、《技术人员管理》、《软件工程规范》、《个体软件过程》和《软件制胜之道》等5本著作亦已经或将于今年年内影印出版。

《软件过程管理》是软件过程领域的开创性著作，是为软件公司经理和软件项目经理撰写的。用这本书提出的原理来指导软件开发，可以有效地按照预定进度得到高质量的软件，同时还可了解如何持续进行过程改进。美国 CMU/SEI 按照这本书提出的原理开发了能力成熟度模型，在国际上得到绝大多数国家的认可和广泛采用，是改进软件过程能力的有力武器。在信息技术迅速发展和企业激烈竞争的今天，能否持续改进过程往往决定企业的命运。

作为一个软件经理，在改进组织的能力之前，首先必须明确绝大多数软件问题是由管理不善所引起的。因此，要改进组织的性能，首先需要改进自己的管理模式。同时还要认识到软件开发是一项智力劳动，需要拥有掌握高技能和忘我工作的技术人员。因此，有效的软件管理需要充分注意技术人员的管理。

《技术人员管理》这本著作就是为达到这个目的而撰写的。高质量的技术工作要求没有差错，这就要求人们高度专心和高度献身。因此要求人们对他所从事的工作不仅具有高度的责任感，而且具有浓厚的兴趣和高度的热忱。在当前知识经济群龙相争的今天，一个能激励人们进行创造性工作的领导群体，是众多竞争因素中最重要的因素。本书提供了大量的实用指南，可用来有效地改进工程人员、经理和组织的性能。

Humphrey 先生还认为这本书特别适合于在我国工作的软件经理。我国是一个人口大国，拥有大量能干的知识分子，而且信息领域的劳动力价格比国际市场的价格要低，因此吸引了许多国家到我国来投资。但若不提高人员的素质，不在产品质量和进度方面也狠下功夫，就不能在这方面持续保持优势。



《软件工程规范》是为编程人员撰写的。它精辟地阐述了个体软件过程（PSP）的基本原理，详尽地描述了人们如何来控制自己的工作，如何与管理方协商各项安排。在软件工程界，这本著作被誉为是软件工程由定性进入定量的标志。目前在世界范围内，有成千上万的软件工程技术人员在接受有关 PSP 的培训，以便正确地遵循 PSP 的实践、开发和管理工作计划，在他们承诺的进度范围内，交付高质量的产品。

《软件制胜之道》这本著作描述了团队软件过程的基本原理，详尽地阐述了在软件组织中如何应用 PSP 和 TSP 的原理以及它所能带来的效益。此外，虽然 CMM 同样适用于小型组织，但在其他著作中都没有描述如何应用 CMM 于个体或小型团队，这本书填补了这个空白。应该指出，如果一个组织正在按照 CMM 改进过程，则 PSP 和 TSP 是和 CMM 完全相容的。如果一个组织还没有按照 CMM 改进过程，则有关 PSP 和 TSP 的训练，可以为未来的 CMM 实践奠定坚实的基础。

在软件工程技术实践方面目前共出版了 10 本著作，其中《用商业组件构建系统》、《软件构架实践》和《软件构架评估——方法和案例研究》等 3 本著作详尽地阐述了软件构架的构建、实践和评估。鉴于是否有一个稳定的软件构架，对软件的质量和成本影响很大，因此如何获得一个良好的构架就成为当今软件界研究的重点。我相信这几本著作的出版，将对我国软件构架领域的研究与实践有重要的参考价值。此外，众所周知，计算机与网络的安全问题对信息系统的可靠使用关系极大，《CERT 安全指南》的出版将会对我国在这一领域的研究和实践起积极的促进作用。《风险管理——软件系统开发方法》、《软件采办管理——开放系统和 COTS 产品》、《项目管理原理》、《软件产品线——实践与模式》和《系统工程——基于信息的设计方法》等 5 本著作，分别从风险管理、软件采办、项目管理、软件产品线以及信息系统设计方法等几个方面阐述了大型、复杂软件系统的开发问题，是有关发

展软件产业的重要领域，很值得我国软件产业界借鉴。

目前我们所处的时代是信息化时代，是人类进入能够综合利用物质、能量和信息三种资源的时代。千百年来以传统的物质产品的生产、流通、消费为基本特征的物质型经济，将逐步进入以信息产品的生产、流通、利用和消费为基本特征的知识型经济。在这个历史任务中，建造和广泛应用各类计算机应用系统是其公共特征。计算机软件是计算机应用系统的灵魂，没有先进的软件产业，不可能有先进的信息产业，从而也不可能建成现代化的知识型经济。

我们应该看到，在软件领域中我国在总体上离世界先进水平还有相当大的差距。但是，我们不能跟随他国的脚印，走他人的老路。我们应该抓住机遇，直接针对未来的目标，在软件工程技术和软件工程管理两个方面，注意研究卡内基·梅隆大学软件工程丛书中倡导的原理和方法，联系实际，认真实践，并充分利用我国丰富优秀的人力资源和尊重教育的优良传统，大力培养各个层次的高质量软件工程专业人员，使其具有开发各类大型、复杂软件系统的能力。我衷心地预祝清华大学出版社影印和翻译出版这套丛书，在把我国建设成为一个真正现代化的软件产业大国的历史任务中起到推波助澜的作用，并请读者在阅读这些译著时，对这套丛书的选题、译文和编排等方面都提出批评和建议。

周伯生

于北京

2002年8月18日

# 前 言

软件构架是软件业的一个重要研究领域，正引起越来越多的关注，其地位也日益明显地体现出来。但就我们所知，无论是从技术角度还是从管理角度，目前针对实际软件开发组织的、有关如何管理软件构架的实用指导文献都还十分缺乏。我们认为，目前很少有关于如何把软件构架和行业或组织的实际情况结合起来的探讨。本书就是基于这样一种认识而编写的。

在设计和分析大型的、复杂的以软件为主的系统方面的经验，使我们认识到软件行业和开发组织对这些系统的设计及最终成败所起的作用。构建系统的目的是为了**满足组织的需求**（或者是预先假设的需求），这些需求决定了系统的性能、可用性、安全性、与其他系统的兼容性以及在生命期内适应变化的能力。系统的这些属性都是受软件构架制约的，或者说，上述属性的实现影响着软件设计师的设计选择。

本书通过对一些现实系统的案例分析，阐述了如何把软件构架与行业或组织的实际情况相结合的问题。这些实例包括如下内容：

- 在最小程度的集中控制下，在本组织范围内快速、方便地共享文档的设想如何最终转化为万维网的软件构架。
- 在空中交通管制中，对安全性的极高要求如何使公司围绕可实现极高可用性的构架构建系统。
- 分散在各地的不同开发人员开发的飞行模拟器子系统如何连接成一个构架，以便于各子系统的集成。

- 为满足产品同时交付的需求而促使（或者说强迫）公司采用某个适当的构架，从而使该公司能够将一组复杂的相关软件系统构建为一个产品线。
- 在组织间和团体内标准化构架方法的需要导致了诸如 J2EE 和 EJB 这样的基础结构。

上述及其他一些案例分析向读者展示了如何根据组织和其业务模型的需求、设计师的经验或主流设计方式来构建合适的软件构架。

另外，我们也讨论了软件构架本身对上述诸因素的影响。一个或一组成功的产品能够影响其他产品的开发方式，对万维网软件构架的案例无疑就是一个很好的例子。在该系统诞生之前，考虑网络需求的软件很少。当时很少考虑数据的可访问性，只有少数几家组织（一般是金融组织或政府部门）考虑安全问题。

本书的读者对象是软件专业人员——即设计和实现大型的以软件为主的系统的人士、软件专业人员的管理人员和希望成为软件专业人士的学生。

作为开发产品，软件构架在质量、进度和成本方面具有极高的投资回报。这是因为软件构架出现于产品生命期的早期阶段，合理的构架为系统生命期的其他阶段——开发、集成、测试和更改——奠定了良好的基础。相反，如果构架选择不当，就意味着系统的整体结构有误，而且无法通过细小的修补或删除某些部分得到更正，即经常导致要全部拆解重建。另外，与其他的开发活动相比，构架分析的投入较低。由于在构架方面所做的决策对以后阶段的开发有着重大影响，并且对构架的检查和修正代价相对较低，因此，软件构架能够实现极大的投资回报。

另外，我们认为可重用的组件只有在良好的构架下才会发挥应有的作用。组件也并非是唯一能够重用的部分。构架的重用有

利于相类似的系列产品的开发，而这反过来又将导致新的组织结构和新的商机。

本书用大量篇幅讲述了一些用于解决组织的现实问题的具体构架。精选这些案例旨在说明设计师必须根据具体的质量目标做出各种选择，以及组织的目标对最终系统的影响。

除了上述案例分析外，本书还讲述了软件构架设计、构建和评价方面的若干技巧。我们从理解对构架的实际质量要求和构建满足这些要求的构架的角度来阐述这些技巧。我们把构架表示和重构技术看作是描述和验证软件构架的手段。我们从分析和评价某个构架与其目标的符合程度来讨论这些技巧。书中所有技巧都来自我们自己在卡内基·梅隆大学工作的同事分析各种软件系统的经验。我们分析的一些系统长达数百万行代码，是由大软件开发商历经数年开发出来的。

尽管关于商业问题的讨论贯穿全书（如软件构架会如何影响组织的市场竞争力、系列产品的构架将如何影响产品上市时间），我们并没有深入讨论企业经营的问题，也没有使用企业经营方面的专业术语。毕竟，我们是软件工程师。相比之下，关于技术的讨论要深入得多。这些技术方面的内容代表了当前软件构架研究的现状——即当前该领域研究与实践相结合的程度，这也是全书的理论基础。书中的案例分析进一步阐明了这些基础，并向读者展示了这些理论知识如何应用于实践。为了从案例分析所说明的经验教训中获益，您需要具备计算机科学、软件工程和相关学科的一些背景知识。但是，我们在撰写这些案例时也做了一定的处理，使得读者无需过多了解相关领域的专业知识就可理解这些案例。例如，理解空中交通管制系统或分行模拟案例分析都不要求具备飞行员的专业知识。

本书第2版与第1版的目的相同，但自第1版问世后，软件

业已经有了新的发展，对软件构架的重要基础也有了新的理解。为了说明这些变化，本书采用了新的案例进行了分析，添加了新章节，并对某些章节进行了深入分析。此外，自第 1 版问世后，我们共同编写的其他几本书对第 2 版产生了很大影响，它们分别是《软件构架编档》、《软件构架评估》和《软件产品线——实践与模式》。这几本书和其他技术及研究活动对本书的编写产生了很大影响。自第 1 版推出后，构架分析、设计、重构和编档都有了很大发展，本书就反映了这一变化。

构架分析已经发展成为一个成熟的领域，已经出现了几个主要的构架分析方法。第 III 部分增加了一章，对 ATAM（构架权衡分析方法）进行了阐述。软件业的许多组织都把 ATAM 作为评估软件构架的方法。

自第 1 版问世后，构架设计也有了很大发展。质量需求的获取、其通过小规模和大规模方法的实现（分别为策略和模式）以及反映如何实现它们的知识的设计方法都在各章进行了讨论。本书增加了如下 3 个章节：理解质量属性、实现质量属性和 ADDM（属性驱动设计方法）。

对于获取未编档的构架来说，构架重构（或反向工程）是一个基本的活动。可以把构架重构作为设计项目或分析项目的一部分，或者在决定把什么作为重构系统的基础时，将其作为考虑因素。在第 1 版中，我们简要提及了工具集（Dali）及其在反向工程环境中的使用，在第 2 版即本书中，我们对其进行了详细深入的介绍。

软件构架编档是在近期发展的非常成熟的另一个主题。在推出第 1 版时，统一建模语言（UML）还只处于初期发展阶段，现在，它已有了很大发展，本书提供了大量反映此发展的新图表。更重要的是，已经形成了对要捕获的构架信息种类的理解，而不

仅仅是使用哪种表示法。本书用一章的内容对构架编档进行了阐述。

在软件产品线一章中，我们对能够使组织用一个构架有效产生各种系统的软件构架应用进行了概述。考虑到产品线（基于一个软件构架）能够使组织在成本、质量和上市时间上实现数量级的改进，本章阐述了构架和组织的业务目标之间的关系。

在目前的经济环境下，除了构架发展，构建分布式和基于 Web 系统的技术也变得非常重要。我们更新了关于万维网那一章的内容来反映这种趋势，这是通过以下方式来实现的：在 ATAM 和用组件构建系统这两章中，使用了基于 Web 的示例；用 Enterprise JavaBeans (EJB) 代替了关于公共对象请求代理的案例分析；介绍了一个无线 EJB 系统的案例分析，该系统设计用于支持面向维护技师的可穿戴计算机。

最后，我们增加了一章从构架的财务方面考虑更为贴切的内容。在本章中，我们介绍了 CBAM（成本收益分析方法），在制定构架决策时，除了考虑以前讨论的技术准则外，我们还要使用此方法考虑经济准则。

与第 1 版相同，本书的主题仍然是构架商业周期 (ABC)。所有的案例分析均根据推动系统设计的质量目标以及系统的构架如何实现这些目标来进行描述。

编写第 2 版时，我们非常清楚本书的主要读者仍然是专业人员，因此，本书重点仍然放在了我们发现在许多行业应用中都有用，以及我们期望在不远的将来会有用的内容上。

我们希望您至少像我们乐于编写这本书一样，喜欢阅读本书。

# 目 录

## 第 I 部分 预想构架

<b>第 1 章 构架商业周期</b> .....	3
1.1 构架的产生 .....	6
1.2 软件过程和构架商业周期 .....	12
1.3 什么样的构架才算好 .....	14
1.4 小结 .....	17
1.5 讨论题 .....	17
<b>第 2 章 什么是软件构架</b> .....	19
2.1 软件构架概念的澄清 .....	19
2.2 其他观点 .....	23
2.3 构架模式、参考模型和参考构架 .....	24
2.4 为什么说软件构架非常重要 .....	26
2.5 构架结构和视图 .....	35
2.6 小结 .....	42
2.7 可进一步参阅的文献 .....	42
2.8 讨论题 .....	45
<b>第 3 章 A-7E 航空电子系统：使用构架结构的案例分析</b> .....	47
3.1 与构架商业周期的关系 .....	48
3.2 需求与质量 .....	49
3.3 A-7E 航空电子系统的构架 .....	54
3.4 小结 .....	66
3.5 可进一步参阅的文献 .....	67
3.6 讨论题 .....	68



## 第 II 部分 创建构架

<b>第 4 章 理解质量属性</b> .....	71
4.1 功能和构架 .....	72
4.2 构架和质量属性.....	73
4.3 系统质量属性 .....	74
4.4 实践中的质量属性场景.....	78
4.5 其他系统质量属性.....	94
4.6 商业质量 .....	95
4.7 构架质量 .....	96
4.8 小结 .....	97
4.9 可进一步参阅的文献.....	97
4.10 讨论题 .....	98
<b>第 5 章 实现质量属性</b> .....	99
5.1 策略介绍.....	100
5.2 可用的策略.....	101
5.3 可更改性策略.....	105
5.4 性能策略.....	111
5.5 安全性策略.....	116
5.6 可测试性策略.....	118
5.7 可使用性策略.....	121
5.8 策略与构架模式的关系 .....	123
5.9 构架模式和样式 .....	124
5.10 小结 .....	125
5.11 讨论题.....	127
5.12 可进一步参阅的文献 .....	127
<b>第 6 章 空中交通管制系统：高可用性设计案例分析</b> .....	129
6.1 与构架商业周期的关系 .....	132
6.2 需求与质量.....	132
6.3 构架解决方案.....	135
6.4 小结 .....	150
6.5 可进一步参阅的文献.....	151
6.6 讨论题 .....	151